

# Libro sobre tecnología ecológica

## Soluciones energéticas para el cambio climático

Resumen



© OMPI, 2024  Attribution 4.0  
International (CC BY 4.0)

La licencia de CC no se aplica al contenido  
de la presente publicación que no sea de  
la OMPI.

Portada : Getty Images / Jaakko Heikkilä,  
Anze Furlan/psgtproductions, marvinh

Referencia de la OMPI RN1080/24-ExSum/ES;  
DOI: [10.34667/tind.58489](https://doi.org/10.34667/tind.58489)

# Resumen

## **Las tecnologías que reducen la demanda de energía ofrecen un enfoque pragmático frente al cambio climático**

En la 28.ª Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP28), celebrada en 2023, los países se comprometieron a triplicar la capacidad en materia de energía renovable y a duplicar las mejoras en eficiencia energética a escala mundial para el año 2030, lo que supone priorizar la eficiencia energética en las decisiones sobre políticas. A pesar del aumento general de los fondos destinados a la lucha contra el cambio climático en todo el mundo, las inversiones en eficiencia energética están tardando en llegar (CPI, 2023a). Por otro lado, sigue existiendo una gran disparidad entre los países desarrollados y en desarrollo en cuanto al desarrollo y la adopción de tecnologías energéticas con bajas emisiones de carbono. Para salvar esta brecha, es esencial mejorar la cooperación internacional y la eficiencia en la transferencia de tecnología. Los consumidores (y, en particular, los prosumidores) desempeñan un papel cada vez más activo en la adopción de energías limpias. No obstante, se necesitan cambios estructurales en las políticas y las inversiones para fomentar un acceso más amplio y equitativo a tecnologías energéticamente eficientes y a la producción descentralizada de energías renovables.

Mientras persista la dependencia de los combustibles fósiles, la eficiencia energética supondrá una contribución pragmática y universalmente beneficiosa para la transición energética. La producción de energía renovable es la principal solución para eliminar gradualmente los combustibles fósiles. Sin embargo, también presenta desafíos, por ejemplo, conflictos de uso de la tierra, problemas en la cadena de suministro y en la gestión de residuos. Invertir en eficiencia energética y gestión de la demanda representa una estrategia útil en todo caso para reducir el consumo de energía. Las tecnologías y prácticas que fomentan la eficiencia energética pueden integrarse perfectamente en todos los ámbitos, desde los hogares hasta las grandes empresas de servicios públicos. Por otra parte, las medidas de eficiencia mejoran la seguridad energética al reducir la dependencia de los combustibles importados y aumentar la resiliencia de los sistemas energéticos frente a las fluctuaciones de la oferta y la demanda.

## **Las tecnologías instrumentales y de uso final impulsan la innovación en tecnologías de energía limpia**

El análisis de las tendencias en el ámbito de las patentes energéticas ofrece información valiosa sobre los avances tecnológicos y la orientación general del sector, aunque no sea un indicador fiable de la demanda del mercado o el éxito comercial. Las tendencias recientes en materia de patentes están dominadas por tecnologías instrumentales como las baterías, el hidrógeno, las redes inteligentes y la captura de carbono, lo que refleja un enfoque más amplio en cuanto a soluciones de uso final y sistemas energéticos descentralizados. Las innovaciones en energía limpia han experimentado un crecimiento notable a lo largo de los años, encabezado por la energía solar, que ha liderado el aumento de las solicitudes de patentes de energías renovables (OMPI, 2023). Sin embargo, las energías renovables representan menos de la quinta parte de toda la innovación en energía limpia. El transporte es importante en el ámbito de las patentes sobre energía baja en carbono, especialmente en relación con los vehículos eléctricos y las tecnologías de carga. A escala regional, Europa, el Japón y los Estados Unidos de América han

estado a la cabeza en la presentación de patentes, aunque China lidera en la actualidad varios sectores, lo que pone de manifiesto un cambio mundial en el liderazgo de la innovación. En esta tercera edición del *Libro sobre tecnología ecológica* presentamos algunas de las innovaciones tecnológicas energéticas más destacadas en segmentos clave de la sociedad, a saber:

- zonas urbanas
- zonas rurales
- servicios esenciales.

## Hacia una utilización más inteligente de la energía en las ciudades

Las ciudades son importantes centros de consumo de energía y desempeñan un papel fundamental en la transición energética. La adopción de autobuses eléctricos y vehículos autónomos presenta oportunidades para reducir el consumo de combustible, aunque persisten desafíos como los elevados costos iniciales y la aceptación pública. Las innovaciones en la eficiencia energética de los edificios, la integración de las energías renovables en los espacios públicos y el nexo urbano entre el agua y la energía también son esenciales para la transición energética urbana. Algunos estudios de casos prometedores, como el sistema de autobuses eléctricos de tránsito rápido del Senegal y el proyecto de recuperación de calor residual del metro de Londres, ilustran el potencial de la tecnología para crear entornos urbanos más sostenibles al abordar las desigualdades socioeconómicas.

Sin embargo, la gestión eficaz de la energía comienza en la fase de diseño, mediante la creación de ciudades densas y transitables, así como de edificios privados y comerciales aislados eficazmente que aprovechen los principios del diseño pasivo. De esta forma se reduce la demanda de energía, al disminuir la dependencia del combustible para el transporte y el uso de tecnologías de calefacción y refrigeración de alto consumo energético. El diseño de ciudades eficientes desde el punto de vista energético supone un gran ahorro de costos y energía a largo plazo. Las ciudades más avanzadas logran una optimización aún mayor del uso de energía y combustible por medio de soluciones digitales automatizadas e interconectadas, como los sistemas inteligentes de tráfico y alumbrado público. No obstante, muchas ciudades en fase de expansión dejan pasar la oportunidad de introducir estas medidas desde el principio. Por otra parte, la capacidad para aplicarlas —así como para adoptar soluciones que permitan gestionar la demanda energética de las ciudades, tanto en los hogares como en los sectores de uso final— varía mucho de una ciudad a otra a escala mundial.

## Optimizar el uso de la calefacción, la refrigeración y el agua para satisfacer una demanda creciente

La calefacción y la refrigeración son responsables de la mayor parte del consumo energético de los hogares. Este dato subraya la importancia que tienen tecnologías como los sistemas de calefacción eficientes, los colectores solares y los electrodomésticos inteligentes. Por otro lado, es esencial integrar la gestión del agua y la energía, ya que el agua caliente sanitaria puede suponer una parte importante del consumo energético de los hogares. El floreciente mercado de los electrodomésticos de bajo consumo de agua y energía, sumado a la legislación de apoyo y a la sensibilización de los consumidores, ofrece oportunidades para reducir el gasto energético y las emisiones. Las normas mínimas de rendimiento energético y las etiquetas de eficiencia energética han demostrado tener un impacto positivo en la adopción de estas tecnologías, si bien aún no se han extendido a todos los países y a todos los tipos de electrodomésticos.

A medida que las comunidades han comenzado a explorar la producción descentralizada de energía, ha surgido el concepto de los “prosumidores”, esto es: hogares que son a la vez productores y consumidores de energía. Con la ayuda de la tecnología, los residentes pueden participar activamente en la transición energética a través de iniciativas colectivas. Esta disposición de los consumidores a desempeñar un papel activo se refleja también en el gran crecimiento del gasto de los hogares en soluciones de mitigación del cambio climático, impulsado en gran medida por el gasto en vehículos eléctricos, seguido por la energía solar fotovoltaica residencial, los calentadores solares de agua y las reformas domésticas dirigidas a mejorar la eficiencia energética.

La disminución de los suministros de agua, acentuada por el cambio climático, aumenta aún más la presión sobre los servicios de abastecimiento de agua, que representan ya alrededor del 4 % del consumo mundial de electricidad. Las infraestructuras obsoletas contribuyen notablemente a este consumo energético intensivo. En cambio, avances tecnológicos como las bombas eficientes, los métodos avanzados de aireación y los sistemas inteligentes de gestión del agua ofrecen oportunidades para reducir el consumo de energía. La integración de tecnologías digitales como los contadores inteligentes y la inteligencia artificial está ganando terreno, incluso en el Sur Global. Estas tecnologías facilitan la supervisión y la optimización en tiempo real de la distribución de agua. También se está estudiando la posibilidad de utilizar las plantas de tratamiento de aguas residuales como instalaciones de recuperación de energía, a través de la digestión anaeróbica y la producción de biogás. Tecnologías emergentes como las pilas de combustible microbianas y los sistemas de recuperación de calor, combinadas con procesos de desalinización más eficientes desde el punto de vista energético, podrían contribuir a mejorar la eficiencia en el sector del agua. Esta cuestión es cada vez más importante, en vista del aumento de la demanda de agua como consecuencia del cambio climático.

### Las soluciones de energía renovable permiten superar los desafíos energéticos en las zonas rurales

Las comunidades remotas y rurales se enfrentan a desafíos únicos de acceso a la energía debido a la baja densidad de población, la elevada inversión de capital requerida y las dificultades técnicas implicadas. La ampliación de la red eléctrica a estas zonas suele ser costosa. Las soluciones que no requerían conexión a la red se basaban hasta ahora en el uso de combustibles fósiles, mientras que el consumo doméstico de energía en las zonas rurales suele depender de combustibles ineficientes como la biomasa y el queroseno, que contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Es crucial abordar este problema mediante avances en tecnologías de energía renovable, como la solar y la eólica, e innovaciones en almacenamiento de energía y eficiencia energética.

Se están creando minirredes y microrredes alimentadas por energías renovables como soluciones rentables para países desarrollados y en vías de desarrollo. Cada vez son más comunes las soluciones descentralizadas, como las minirredes de energía renovable y los modelos centrados en la comunidad. La gestión energética está mejorando gracias a tecnologías avanzadas como las células fotovoltaicas solares de última generación, el almacenamiento en baterías y los sistemas de control basados en inteligencia artificial. Por otro lado, el desarrollo rural y la resiliencia climática se ven favorecidos por las innovaciones en tecnologías como las microrredes, la electrificación en enjambre, la energía hidroeléctrica a pequeña escala y soluciones solares y de conversión de residuos en energía. Los sistemas solares domésticos e híbridos son eficaces en zonas que no disponen de red eléctrica. Por otro lado, las tecnologías no contaminantes para cocinar y las soluciones de conversión de residuos en energía también ofrecen oportunidades para reducir el consumo energético, al tiempo que aportan otros beneficios importantes en aspectos como la salud, la calidad del aire, la deforestación y la gestión de residuos.

### Una agricultura más ecológica gracias a las innovaciones en eficiencia energética

La agricultura tiene un impacto considerable en el cambio climático provocado por las emisiones de gases de efecto invernadero, en parte debido al uso de energía. La nueva revolución verde tendrá que maximizar el uso de las tecnologías ya disponibles para producir de forma ecológica y al mismo tiempo alimentar a una población mundial en crecimiento. Técnicas innovadoras como la agrovoltaica (paneles solares combinados con cultivos) y la acuavoltaica (paneles solares integrados con la acuicultura), basados en la colocación conjunta de cultivos y paneles para la producción de energía renovable, pueden contribuir tanto a la mitigación como a la adaptación. Las prácticas y tecnologías energéticamente eficientes, como la agricultura de precisión, el riego con energía solar, la maquinaria electrificada, el *software* de gestión agrícola y los sensores del Internet de las cosas (IdC) ayudan a reducir las emisiones, conservar agua y ahorrar energía. Para que las poblaciones rurales y los agricultores puedan acceder a estas

tecnologías y adoptarlas es importante contar con modelos de financiación innovadores, como el pago por uso y modelos cooperativos y basados en el arrendamiento.

Las actividades de procesamiento y almacenamiento posteriores a la cosecha han demostrado ser muy intensivas en energía. La pérdida y el desperdicio de alimentos contribuyen de forma notable a las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que afectan aproximadamente a un 30 % de los alimentos producidos, especialmente en países de ingresos bajos y medianos. Innovaciones tecnológicas como las secadoras solares y de bajo consumo energético pueden ofrecer una respuesta tanto a la demanda de energía como a las pérdidas posteriores a la cosecha, aunque el acceso a estas tecnologías suele ser limitado en el caso de los pequeños agricultores. Existen tecnologías de bajo consumo energético para el procesamiento de productos lácteos, el secado, la molienda, el almacenamiento de grano y las fuentes de energía renovables que pueden mitigar la demanda de energía. Las innovaciones en la logística de la cadena de frío, el envasado y la refrigeración son esenciales para abordar el consumo de energía, frenar la pérdida de alimentos y reducir las emisiones.

Es importante destacar que las tecnologías de energía rural limpia son herramientas tanto de adaptación como de mitigación: fortalecen la resiliencia frente a los cortes de suministro eléctrico y los trastornos causados por los efectos del cambio climático; proporcionan acceso a la electrificación rural en zonas desatendidas; y garantizan un suministro energético fiable frente a los desafíos climáticos. Las tecnologías aquí presentadas pueden aportar numerosos beneficios a las poblaciones rurales en términos de adaptación y resiliencia, especialmente en lo que se refiere a la seguridad e independencia energéticas, la mejora de la calidad del aire, la salud, los estándares económicos y la calidad de vida.

## Consumidores de energía muchas veces ignorados

Por su condición de grandes consumidores de energía, los supermercados presentan desafíos y oportunidades únicos en materia de eficiencia energética y sostenibilidad. Los supermercados, que surgieron en Estados Unidos y Europa a principios del siglo XX y actualmente están en expansión por todo el mundo, aprovechan las economías de escala para ofrecer productos diversos, aunque requieren una gran cantidad de energía para la refrigeración, la iluminación y el control de la temperatura. Esa demanda energética, sumada al desperdicio de alimentos y a las emisiones de refrigerantes, amplifica su impacto ambiental. La intensidad energética del sector, especialmente en las tiendas más pequeñas, pone de manifiesto la necesidad de incorporar tecnologías energéticamente eficientes. Los avances logrados en relación con los sistemas de refrigeración transcítica con CO<sub>2</sub>, los sistemas de climatización eficientes y automatizados, la recuperación de calor y la producción de energía renovable *in situ* pueden reducir drásticamente el consumo de energía y las emisiones.

Los establecimientos de salud son fundamentales para el cuidado de los pacientes, aunque a menudo se pasa por alto su elevado impacto medioambiental. Estas instalaciones también tienen un consumo energético intensivo debido a su funcionamiento ininterrumpido, especialmente en lo que respecta a los sistemas de climatización, la iluminación y el equipo médico. Por otro lado, son vulnerables a las condiciones meteorológicas extremas y a los cortes de energía, ya que pueden poner en peligro la atención a los pacientes. Iniciativas de alcance mundial como Salud sin Daño promueven la mejora del impacto ecológico de los hospitales a través de informes voluntarios de sostenibilidad, acciones coordinadas y el intercambio de conocimientos sobre mejores prácticas. Para reducir las emisiones y mejorar la seguridad energética es vital contar con sistemas eficientes de calefacción, ventilación, climatización e iluminación, así como con sistemas descentralizados de generación de energía, como la energía solar y la cogeneración. En este sentido, son fundamentales los sistemas de ventilación adaptativa, los congeladores médicos, las máquinas de resonancia magnética eficientes y la iluminación LED automatizada, entre otras tecnologías, así como la reducción del consumo de energía en modo de espera.

Los centros de datos, una infraestructura crucial para nuestras vidas digitales, consumen una gran cantidad de energía y agua, lo que suscita preocupación por su impacto negativo. Si bien los datos también están en la base de muchas soluciones climáticas modernas, desde la previsión climática hasta la agricultura de precisión, a menudo no se comprende bien el

impacto neto que tiene el uso de datos en el clima. En la sección dedicada a los centros de datos se examinan distintas soluciones innovadoras para reducir sus necesidades de consumo de energía y refrigeración. A medida que crece la demanda de datos, especialmente con el auge de la IA, se vuelve aún más importante introducir soluciones como la generación de energía renovable *in situ* y la energía de reserva de hidrógeno verde. La ubicación geográfica de los centros de datos afecta también a su impacto climático; por ello, las zonas ricas en energías renovables y con climas fríos resultan atractivos para las instalaciones de computación en la nube. Existen varias estrategias para mejorar la eficiencia y la resiliencia climática, como la virtualización, el equilibrio de carga y el uso de *hardware* y *software* energéticamente eficientes. Por otro lado, las innovaciones en tecnologías de refrigeración (por ejemplo, la refrigeración por inmersión y la refrigeración libre) ayudan a optimizar la gestión de la temperatura. Además, cada vez despiertan más interés los sistemas de recuperación del calor residual con miras a reutilizar el exceso de calor para cubrir las necesidades energéticas locales. Las innovaciones tecnológicas desarrolladas para el funcionamiento de los centros de datos, en particular, resultan fácilmente accesibles y su adopción es vital para minimizar el impacto climático del creciente consumo mundial de datos.

# Ideas principales

## La transición energética es para todos

La tecnología y la innovación están impulsando la democratización de la transición energética, al permitir la producción descentralizada de energía, mejorar la flexibilidad de la red y ofrecer una amplia gama de soluciones de eficiencia energética y gestión de la demanda para hogares, comunidades, servicios públicos, ciudades y empresas. Los electrodomésticos de bajo consumo, los termostatos inteligentes y los dispositivos de Internet de las cosas permiten a los consumidores optimizar el uso de la energía y reducir el consumo y los costos, facilitando así el acceso a prácticas sostenibles. Estos avances fomentan una mayor independencia y resiliencia energéticas en todos los sectores, ya que permiten a los consumidores y usuarios finales generar, almacenar o gestionar activamente su propia energía y complementar de este modo las inversiones en infraestructuras energéticas a gran escala.

## Los servicios energéticos empiezan a ser más importantes que el suministro

La transición energética marca una nueva era para la seguridad energética, centrada en los servicios energéticos más que en las materias primas. Las tecnologías serán más importantes que los combustibles. En el pasado, la seguridad energética se abordaba principalmente a través de medidas relacionadas con la oferta, en tanto que la gestión de la demanda energética se consideraba menos importante. El panorama geopolítico evolucionará hacia una dependencia energética más localizada, de modo que los países dependerán principalmente de fuentes regionales y tendrán menos necesidad de importar combustibles fósiles de lugares lejanos. Las conexiones mundiales persistirán a través de los mercados y las cadenas de suministro de tecnologías limpias. Cada vez se prestará más atención a los países en desarrollo y a su acceso a la tecnología, la financiación y el conocimiento en materia de propiedad intelectual. Los sistemas centralizados darán paso a soluciones más descentralizadas en las que haya una mayor participación de los consumidores. Los planes y las inversiones tendrán cada vez más en cuenta las repercusiones ambientales, la sostenibilidad y la resiliencia climática (incluida la diversificación de las fuentes de energía).

## Ventajas macroeconómicas de la transición a la energía ecológica

La mayoría de los países cuentan con recursos renovables que pueden aprovechar para garantizar su seguridad e independencia energéticas, reduciendo así la necesidad de importar combustibles y la exposición a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles. La transición energética brindará oportunidades a los países en desarrollo, que a menudo carecen de reservas nacionales de combustible y pueden salir beneficiados si se maximiza el uso de recursos energéticos renovables. Es posible que las tecnologías renovables no proporcionen una independencia energética absoluta, pero sí permiten a los países mejorar la seguridad y la resiliencia energéticas, al utilizar sus propias fuentes de recursos. Algunos países que son actualmente muy dependientes de las importaciones de petróleo, gas o carbón, tendrán la posibilidad de dejar atrás los sistemas basados en combustibles fósiles y las redes nacionales. Numerosas tecnologías que mejoran el acceso a la energía en los países en desarrollo (por

ejemplo, recursos energéticos sin conexión a la red, híbridos y descentralizados) pueden resultar más costoeficaces a largo plazo que los combustibles fósiles. Los países pueden ahorrar aproximadamente 156 000 millones de dólares EE.UU. en costos mediante el uso de fuentes de energía renovables (IRENA, 2022). Un sistema de energía solar para uso doméstico suele tener un costo inicial inferior a la inversión necesaria para establecer un sistema basado en combustibles fósiles o para ampliar una infraestructura de red tradicional. Por otro lado, sistemas locales y descentralizados como los sistemas solares domésticos y las microrredes pueden implantarse con más rapidez que una infraestructura centralizada basada en los combustibles fósiles, y son también más resistentes a las perturbaciones y a los desastres naturales. Las tecnologías se pueden adaptar a los recursos locales (por ejemplo, se puede generar energía hidroeléctrica a pequeña escala en zonas fluviales) para que sean más prácticas y sostenibles. Los gobiernos y las organizaciones internacionales pueden pasar de subvencionar los combustibles fósiles a ofrecer subvenciones, ayudas o incentivos para proyectos de energía renovable, reduciendo así la carga de costos que soportan. El despliegue y mantenimiento de tecnologías de energía renovable puede crear empleo y fomentar el espíritu empresarial en el ámbito local, así como impulsar el desarrollo de pequeñas y medianas empresas.

### **Las infraestructuras descentralizadas de energía renovable mejoran la flexibilidad y la diversidad del acceso a la energía**

La infraestructura descentralizada de energía renovable es una opción cada vez más atractiva para la electrificación de zonas rurales sin conexión a la red. Puede ayudar a cumplir los objetivos de mitigación y adaptación climática, proporcionar acceso a energía limpia y fiable en zonas con servicios insuficientes y satisfacer la creciente preferencia por la flexibilidad e independencia energéticas tanto en las economías emergentes como en las desarrolladas. Los sistemas de electrificación sin conexión a la red están disponibles en diversas tecnologías y diseños, lo que aumenta su flexibilidad y adaptabilidad a las condiciones locales. Las redes inteligentes utilizan tecnologías digitales, sensores y contadores inteligentes para controlar el flujo de electricidad. Efectúan un seguimiento de los patrones de uso, ajustan la carga de la red en función de la demanda y reducen las pérdidas de energía mediante la detección y corrección rápida de las ineficiencias dentro de la red. Esas redes facilitan la integración de fuentes descentralizadas de energía renovable mediante la gestión de la variabilidad de la producción y la coordinación con otros recursos de la red. Se trata de una función vital para mejorar la resiliencia de la red frente a los trastornos y los fenómenos meteorológicos extremos, favoreciendo así la adaptación al cambio climático. Las microrredes, que pueden funcionar independientemente de la red principal, son vitales para la transición energética en las comunidades rurales, ya que estimulan la adopción de energías renovables al tiempo que proporcionan seguridad energética, asequibilidad y resiliencia.

### **Soluciones nuevas, eficientes y más baratas para el almacenamiento de energía contribuyen a propagar la energía renovable por todo el mundo**

A medida que aumenta el uso de fuentes descentralizadas de energía renovable, gana cada vez más importancia la gestión de las fluctuaciones en la producción energética mediante el almacenamiento del exceso de energía. A lo largo de los últimos años, las baterías de iones de litio han reducido considerablemente su costo, además de registrar mejoras en cuanto a la densidad energética, la vida útil y la eficiencia. Se han producido innovaciones continuas en las tecnologías de almacenamiento de energía, tales como las baterías de flujo, el almacenamiento hidroeléctrico por bombeo, el almacenamiento por volante de inercia y el almacenamiento por gravedad, basado en la energía potencial gravitacional, que resulta especialmente útil en zonas rurales y sin conexión a la red. No obstante, para cumplir el compromiso de la COP28 de triplicar la capacidad mundial de energía renovable para 2030 y, al mismo tiempo, mantener la seguridad eléctrica, es necesario ampliar considerablemente la capacidad de almacenamiento de energía.

## La demanda mundial de alimentos deberá satisfacerse en el futuro mediante nuevas soluciones ecológicas, dejando atrás el modelo actual

La energía renovable y la eficiencia energética son fundamentales para alimentar de forma sostenible a una población en constante crecimiento. Irónicamente, las innovaciones del pasado destinadas a mejorar la productividad agrícola han contribuido a la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad, la contaminación del agua y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Durante la primera revolución ecológica, las máquinas aumentaron la productividad y provocaron un aumento exponencial de la producción de fertilizantes y pesticidas que continúa hasta nuestros días. No obstante, ahora se está produciendo una nueva revolución ecológica, gracias a la disponibilidad de numerosas tecnologías que mejoran la sostenibilidad de las operaciones agrícolas, tanto en el campo de cultivo como en el procesamiento y almacenamiento posteriores a la cosecha. Las innovaciones en las explotaciones agrícolas abarcan la maquinaria eléctrica, las bombas e incubadoras alimentadas con energía solar, la ventilación eficiente de invernaderos y establos, la aireación con energía renovable para la acuicultura y los sistemas agrivoltaicos que producen tanto energía renovable como alimentos. Las tecnologías de secado utilizan menos energía gracias al ajuste del flujo de aire y al uso de sensores de humedad. Las innovaciones en el almacenamiento en frío utilizan energía solar, unidades de transporte eléctrico, tecnologías avanzadas de refrigeración energéticamente eficientes, sistemas inteligentes de supervisión y control, y refrigerantes alternativos con menor impacto climático.

## La eficiencia energética y la gestión de la demanda son cruciales para frenar la tendencia al aumento del consumo de energía

La transición energética depende por completo de la inversión en eficiencia energética. Aunque en los países de ingresos altos existe una actividad considerable de patentamiento de tecnologías relacionadas con la eficiencia energética y la energía baja en carbono, estas inversiones siguen muy desatendidas en el contexto de la financiación internacional de la lucha contra el cambio climático. A pesar de la importancia de las inversiones en energías renovables, su tasa de penetración actual es insuficiente para combatir eficazmente el cambio climático a escala mundial. La persistente dependencia de los combustibles fósiles, sumada al mantenimiento de los subsidios nacionales y al rápido crecimiento de la demanda energética mundial, pone de manifiesto la urgente necesidad de introducir políticas y tecnologías innovadoras que reduzcan el consumo de energía, aumenten la recuperación de energía e introduzcan nuevas formas de utilizar los electrodomésticos y otros bienes. Prestar una atención excesiva a soluciones relacionadas con la oferta y pasar por alto la eficiencia energética puede traer consigo nuevos desafíos, como la necesidad de establecer cadenas sostenibles de suministro de materias primas o de mitigar el acaparamiento de tierras y su efecto negativo sobre las desigualdades sociales.

## Vigilar posibles contrapartidas y efectos rebote de las inversiones en tecnologías energéticas bajas en carbono

Como se pone de manifiesto a lo largo de los diferentes capítulos, la inversión en energías renovables, eficiencia energética y gestión de la demanda puede tener consecuencias negativas no deseadas y efectos rebote. Algunos ejemplos de lo anterior pueden ser el teletrabajo, que reduce los desplazamientos pero también aumenta el consumo energético en los hogares; los vehículos eléctricos y las soluciones de movilidad como servicio, que pueden sustituir al transporte público y alterar los patrones de uso de la bicicleta; y el alumbrado público LED, que afecta a la fauna urbana. Más conocido aún es el efecto rebote que puede tener la inversión en eficiencia energética, cuando el ahorro de costos lleva a los consumidores a aumentar su consumo de energía. Por otro lado, existe el riesgo de que las inversiones y políticas energéticas descentralizadas dirigidas a que haya más "prosumidores" de energía renovable se hagan a expensas del fortalecimiento y la mejora del impacto ecológico de la infraestructura de la red nacional. Es necesario investigar y comprender mejor estas compensaciones para mitigar posibles daños y prevenir la reducción de las ganancias esperadas de la inversión en energía baja en carbono.

## El riesgo de los activos varados no se limita a la infraestructura de los combustibles fósiles

Existe un riesgo muy real de que surja una nueva clase de activos energéticos varados. Los rápidos avances tecnológicos podrían hacer que los activos o infraestructuras de energía renovable existentes queden obsoletos. Al igual que los vehículos convencionales y los edificios energéticamente ineficientes, los paneles solares de primera generación también quedarán obsoletos. Las turbinas eólicas más antiguas, con baja eficiencia, poca capacidad y sistemas de control menos avanzados, pueden ser reemplazadas por modelos más nuevos con mayor capacidad, mejor rendimiento y un diseño avanzado de las palas. Los sistemas de almacenamiento de baterías más antiguos pueden quedar obsoletos frente a tecnologías más nuevas, como las baterías de iones de litio o las baterías de estado sólido. Los efectos negativos derivados incluyen el exceso de residuos, el aumento de los costos de instalación y actualización, y la disminución del valor de las inversiones en energías renovables a lo largo del tiempo, lo que a su vez obliga a una sustitución más temprana. Si bien se prevé que en el futuro los residuos procedentes de las energías renovables representen una pequeña fracción del total de los residuos mundiales (en comparación con los residuos plásticos, los residuos municipales, las cenizas de carbón y los residuos electrónicos), es imperativo investigar e invertir en programas avanzados de reutilización y reciclaje y en soluciones circulares para los módulos fotovoltaicos. Esta cuestión pone de relieve a su vez el papel de las rehabilitaciones energéticas. En lugar de fabricar activos completamente nuevos, se podría explotar más la rehabilitación energética, tanto en edificios y vehículos como en la industria. Las rehabilitaciones energéticas no solo suponen un ahorro de energía y materiales, sino que también generan nuevos puestos de trabajo, mejoran la productividad de los empleados y aumentan el valor de los activos.

## Las tecnologías innovadoras hacen posibles nuevas soluciones energéticas en condiciones difíciles

Algunos avances recientes en tecnologías energéticas bajas en carbono contribuyen a ampliar aún más su aplicabilidad en todo el mundo, incluso en climas extremos. Las innovaciones introducidas en las baterías de los vehículos eléctricos, por ejemplo, permiten desarrollar sistemas avanzados de calefacción y refrigeración por aire, mejorar la gestión térmica y crear una nueva química de baterías que haga posible que los autobuses eléctricos funcionen en las frías regiones septentrionales. Los paneles solares que se diseñan ahora son más eficientes en condiciones de poca luz. Asimismo, las nuevas soluciones de carga de baterías permiten cargar vehículos en centros urbanos con redes eléctricas deficientes. Además, los sistemas de refrigeración con CO<sub>2</sub> subcrítico, que han demostrado su eficacia en el ahorro de energía en supermercados de Europa, pueden funcionar ahora de manera eficiente en climas más cálidos gracias a la mejora del diseño del sistema. Por otra parte, las bombas de calor, tradicionalmente más eficaces en climas templados, también han experimentado importantes mejoras, lo que les permite proporcionar calefacción y refrigeración durante inviernos fríos y veranos calurosos. Estas innovaciones señalan hitos importantes en la transición energética mundial, al permitir la adopción generalizada de soluciones con independencia de la localización. Las tecnologías modulares ofrecen mayor flexibilidad y accesibilidad a los hogares. Se trata, por ejemplo, de digestores anaeróbicos modulares para uso doméstico y sistemas solares pico (muy pequeños) que pueden instalarse en pequeñas unidades ampliables, lo que facilita la mejora de un sistema a lo largo del tiempo. Estas innovaciones son el resultado de ecosistemas de innovación eficaces. Los derechos de propiedad intelectual son la piedra angular de un ecosistema de innovación que funcione correctamente y permiten la transferencia de tecnología, no solo del laboratorio al mercado, sino también entre mercados.

## Modelos de financiación innovadores impulsan la adopción de tecnologías energéticas en zonas de ingresos bajos

Algunos modelos de financiación innovadores, como el pago por uso (PAYG), la energía como servicio, la microrred como servicio y el *software* como servicio, están transformando el acceso y logrando que las tecnologías limpias sean más asequibles y escalables en zonas desatendidas. Gracias a estos modelos, se reduce el capital inicial necesario para adoptar tecnologías limpias. Los modelos PAYG permiten a los usuarios pagar en cuotas pequeñas y manejables, lo que

reduce las barreras financieras y permite una implantación más rápida en diversas regiones. A menudo incluyen garantías de rendimiento y servicios de mantenimiento, lo que reduce el riesgo financiero para los consumidores. Del mismo modo, los acuerdos de arrendamiento y cooperación en relación con equipos agrícolas de bajo consumo energético proporcionan a los agricultores soluciones flexibles y rentables, lo que les permite adoptar tecnologías avanzadas sin la carga que supone realizar una gran inversión inicial. Cada vez hay más programas innovadores que ofrecen subvenciones, descuentos, incentivos y financiación a bajo costo para que los productores agrícolas y las pequeñas empresas rurales instalen sistemas de energía renovable y mejoren su eficiencia energética.

## Potencial aún sin explotar para la recuperación de energía

La innovación permite aprovechar la energía de fuentes que hasta ahora tenían poco interés. Cada vez son más las empresas de gestión de residuos que estudian la posibilidad de aprovechar el contenido orgánico mediante la digestión anaeróbica, la cogeneración de calor y electricidad y otros medios de producción de energía *in situ*, como la tecnología emergente de las pilas de combustible microbianas. En entornos urbanos, se están llevando a cabo experimentos para utilizar la recolección de energía cinética con el fin de recuperar energía del movimiento del tráfico peatonal, o líneas de absorción planas para absorber el calor. En zonas rurales, aumenta el uso de digestores anaeróbicos compactos y modulares diseñados para granjas y comunidades de tamaño reducido, que no solo generan energía renovable, sino que también contribuyen a la gestión de residuos. Además, existen ejemplos de supermercados que han logrado convertirse en proveedores de energía gracias a la recuperación del calor generado por la refrigeración de vitrinas y congeladores.

## Se necesita más innovación en sectores emergentes con alto consumo de energía

La emergencia de grandes sectores introduce nuevas incertidumbres en cuanto al consumo de energía de cara al futuro; en este sentido, es necesario orientar la innovación hacia la reducción del consumo. La electrificación de los usos finales transformará los patrones de consumo de energía. Es preciso abordar desde el principio los desafíos técnicos, los costos y las repercusiones ambientales y sociales de la modernización de las infraestructuras. Uno de los sectores que se abordan en esta publicación, por ejemplo, son los centros de datos, cuya demanda de electricidad podría duplicarse de aquí a 2026. Del mismo modo, se espera que la desalinización sea el principal factor responsable del aumento del consumo de energía del sector del abastecimiento de agua, ante la creciente dificultad de acceder al agua dulce como consecuencia del cambio climático. Los sistemas de refrigeración eléctrica que se utilizan para enfriar o congelar la carga en los vehículos de transporte son muy necesarios en el marco de una cadena de suministro mundial en expansión. Por otro lado, se requieren esfuerzos adicionales considerables para atraer inversiones en energías renovables y ampliar la red en los países más desfavorecidos, ya que algunas zonas se están quedando rezagadas por falta de inversión y apoyo internacional.

## Las tecnologías de energía limpia contribuyen también de manera importante a mejorar la adaptación y la resiliencia

Las tecnologías de energía renovable y eficiencia energética refuerzan los sistemas energéticos frente a los efectos físicos del clima. Esta contribución se produce de varias maneras. Por un lado, esas tecnologías integran diferentes fuentes de energía renovable, con lo que mejoran la resiliencia de la red, aumentan la flexibilidad y ofrecen más opciones para gestionar fenómenos meteorológicos extremos. También permiten reducir la dependencia de infraestructuras vulnerables. Por otro lado, las tecnologías de redes inteligentes y los sistemas de almacenamiento de energía mejoran la capacidad de la red para gestionar las interrupciones y responder a ellas. Invertir en energías renovables puede ser un estímulo para las economías locales y contribuir a la creación de empleo, lo que a su vez aumenta la resiliencia de la población local ante los trastornos provocados por el clima. Los sistemas agrovoltaicos optimizan el uso de la tierra para producir tanto energía como cultivos. Esto es especialmente

importante en zonas donde el suelo agrícola está sometido a los efectos del clima y a la presión de la urbanización. Los modelos acuavoltaicos, que integran sistemas fotovoltaicos solares con masas de agua, son beneficiosos para las comunidades pesqueras y acuícolas remotas y sin conexión a la red que deben hacer frente a los elevados costos del combustible y satisfacer al mismo tiempo las necesidades de seguridad alimentaria.

La energía ocupa un lugar central en la tercera edición del *Libro sobre tecnología ecológica*. En este resumen se expone el contexto general de las soluciones que se presentan en el informe completo sobre el cambio climático: un conjunto de innovaciones tecnológicas importantes en materia de energía aplicables a sectores clave de la sociedad, como los hogares y las comunidades de zonas urbanas y rurales, así como a los servicios esenciales que prestan los supermercados, los establecimientos de salud y los centros de datos.